جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره چهاردهم، تابستان ۱۳۹٤

صص ۵۷-۳۵

پایش ماهواره‌ای و تحلیل همدید پدیده‌ی گرد و غبار در کلان‌شهر مشهد طی دوره آماری ۲۰۱۳-۲۰۰۹

جمیله محمدی مرادیان ـ دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
سیدرضا حسین‌زاده[1]ـ دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۱/۲۳ تاریخ تصویب: ۱۳۹٤/٤/۸

چکیده

پدیده‌ی گرد و غبار در شرایط امروزی ایران به عنوان یک مخاطره محیطی جدی، مشکلات عمده‌ای را برای محیط‌زیست و سلامت مردم به وجود آورده است. موضوع این تحقیق تحلیل گرد و غبار هوای کلان‌شهر مشهد طی دوره‌ی آماری ۲۰۱۳-۲۰۰۹ است. بدین منظور از طریقِ پردازش تصاویر ماهواره‌ای MODIS و با کاربرد شاخص دمای درخشایی، آشکارسازی گرد و غبار انجام و قلمرو گسترش آن بر روی شهر مشهد انجام شده است. سپس در جهت تحلیل علل سینوپتیک وقوع گرد و غبار، نقشه‌های ۵۰۰ هکتوپاسکال که از پایگاه NOAA با قدرت تفکیک ۲/۵×۲/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی به صورت چهارنوبت در روز دریافت گردیده بود تحلیل شد. همچنین برای تعیین مناطق منشأ غبار، مدل جریانی HYSPLIT به روش پسگرد، طی ۲٤ ساعت قبل از وقوع برای روزهای آماری مورد مطالعه اجرا گردیده است. نتایج تحقیق نشان داد، که نواحی منشأ غبار روی شهر مشهد طی دوره‌ی گرم سال، در شرق و شمال‌شرق یعنی بیابان‌های ترکمنستان و همچنین اراضی تغییر یافته‌ی دشت‌های شمال‌شرق کشور قرار دارد. در دوره‌ی سرد سال نیز بیشتر نواحی شمال‌غربی شهر مشهد و از شرق دریای‌خزر با فراوانی کمتر توده‌ی گرد و غبار به سمت شهر مشهد کشیده می‌شوند. همچنین در کلیه‌ی نمونه‌های مورد مطالعه قرارگیری پرفشار حرارتی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و مکان‌گزینی اُمگای منفی در سطح زمین موجب صعود و ناپایداری هوا شده که با در نظر گرفتنِ جهت جریانات غبار، مشخص می‌شود که غبار از مناطق منشأ برخاسته و به سمت کلان‌شهر مشهد هدایت شده است.

کلیدواژه‌ها: گرد و غبار، دمای درخشایی، سینوپتیک، مدل HYSPLIT، کلان‌شهر مشهد.

---

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۱۱۷۳۲۵ Email : srhosszadeh@um.ac.ir

۱. مقدمه

گرد و غبار به‌عنوان یک ماده آلاینده هوا همراه با دیگر آلاینده‌های جوی مورد سنجش قرار می‌گیرد (ذوالفقاری، ۱۳۹۰). به علت فقدان پوشش گیاهی در مناطق مستعد گرد و غبار، هوای سطح‌زمین این مناطق گرم شده، به سمت بالا حرکت می‌کند و زمانی که به بادهای با سرعت بالای تروپوسفری برخورد نماید، یک جریان چرخشی سرد متمایل به سمت پایین ایجاد نموده که این بادها با شدت بالا در برخورد با سطح زمین باعث ایجاد توفان‌های گرد و غباری می‌شوند(زوان[1] و همکاران، ۲۰۰٤). بزرگ‌ترین و پایدارترین منابع تولید غبار در نیمکره شمالی قرار دارند که همچون کمربندی از سواحل شمال‌غربی آفریقا آغاز شده و ضمن دربرگرفتن خاورمیانه، آسیای مرکزی و جنوبی به چین می‌رسد. با توجه به قرار گرفتن ایران در این منطقه و برخورداری از اقلیم خشک مستعد وقوع توفان‌های گرد و غباری است. این پدیده در ایران، بیشتر در نواحی شرقی و چاله‌های مرکزی، جنوب و جنوب غرب کشور به وقوع می‌پیوندد (صفری، ۱۳۹۰: ۳). توفان‌های گرد و غبار اثرات تخریبی چشم‌گیری بر اکوسیستم دریایی، ساحلی،تغییر ساختار خاک، اقتصاد و سلامتی انسان دارند(گودی[2]، ۲۰۰۷). تاکنون مطالعات و بررسی‌های گسترده و زیادی در سرتاسر جهان از مناطق وقوع این پدیده‌ی زیست‌محیطی، از جنبه‌های متنوعی صورت گرفته است، اکرمن[3] و چانگ[4] (۱۹۹۲)، تأثیر تجمع گرد و غبار را روی انرژی ورودی و خروجی نور خورشید بررسی کرده‌اند. تحقیقات آن‌ها نشان داد هنگامی‌که هوای بالای اقیانوس‌ها گرد و خاکی است طول موج کوتاه بالای لایه‌های اتمسفر تا ۹۰ – ٤۰ وات بر مترمربع افزایش می‌یابد درحالی‌که در شرایط بدون گرد و غبار این طول موج ۲۰–۵ وات بر متر مربع است. وانگ[5] و همکاران (۱۹۹۵)، نشان دادند که ذرات معلق روی تابش‌های ورودی و خروجی سطح زمین اثر دارند، تحقیقات آن‌ها نشان داد که ذرات گرد و غبار تأثیراتی روی جذب نور خورشید در لایه‌های زیر ۳۰۰۰ متری اتمسفر دارد. شانلین لیانگ[6] و همکاران (۲۰۰٦)، با استفاده از ضخامت نوری استخراج‌شده از ماهواره‌ها به همراه اندازه‌گیری‌های زمینی غلظت $PM_{2.5}$ کیفیت هوا را در چند شهر آلوده جهان از جمله سیدنی، دهلی‌نو، هنگ کنگ، نیویورک و سوئیس برآورد نموده و ضریب همبستگی بالایی (حدود ۰/۹٦) میان این دو پارامتر به دست آوردند. همچنین مقادیر همبستگی عواملی از جمله پوشش ابر، رطوبت نسبی، ارتفاع لایه اختلاط بررسی شد و نتایج آن نشان داد که شرایط بدون ابر همبستگی بالا و ارتفاع لایه اختلاط و

1 Xuan
2 Goudie
3 Ackerman
4 Chung
5 Wang
6 Shunlin Liang

رطوبت نسبی همبستگی پایین با میزان غلظت PM2.5 دارد. کای[1] و ژائو[2] (۲۰۰۷)، بررسی ویژگی طوفان‌های گرد و غباری آسیا با منشأ دریایی طی سال‌های ۲۰۰۲–۲۰۰۰ نشان داد که ٦٤ درصد توفان‌ها از دریاهای چین منشأ می‌گیرند و از غرب به شرق قوی‌تر شده و بر روی خشکی گرد و خاک را حمل می‌نمایند. ژائو[3] و همکاران (۲۰۱۰)، الگوریتمی جهت تشخیص گرد و غبار و دود در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی ابداع کردند. آشکارسازی در سطح پیکسل و خروجی حاصل از آن با ویژگی صفر به معنای بدون غبار ودود و یک به معنای همراه با غبار و دود بر روی تصاویر MODIS انجام شد. الگوریتم به‌کاررفته توانست غبار سنگین و ابرهای دودی روی سطح خشکی و دریا را آشکار نماید و به عنوان الگوریتم جهانی به کار رود. به‌کارگیری الگوریتم مذکور تمام تصاویر و با استفاده از طول موج‌های ۰/٤٧ ، ۰/٦٤ ، ۰/٨٦ ، ۱/۳۸ ، ۲/۲٦ ، ۳/۹ ، ۱۱ ، ۱۲ میکرومتر بر روی تصاویر EOS/MODIS، JPSS/VIIRS، GEOS-R/ABI را می‌تواند به شکل مطلوب آشکارسازی نماید. وانگ و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از مدل HYSPLIT ، توفان‌های ماسه و گرد و غبار سال ۲۰۰۸ را بررسی و چهار منطقه آفریقای شمالی، خاورمیانه، مغولستان و شمال غرب چین را با فراوانی بالای رخداد گرد و غبار بیان کردند. کریمی[4] و همکاران (۲۰۱۲)، در مطالعه‌ی مقایسه تکنیک-های شناسایی منابع گردو غبار سطح زمین در خاورمیانه با استفاده از داده‌های MODIS، نشان دادند که الگوریتم حرارتی در مقایسه با مدل‌های اپتیکی در شناسایی گرد و غبار توانایی بالاتری برای تعیین پیکسل-های گرد و غباری دارد و مدل‌های‌حرارتی می‌تواند اساس شناخت و مطالعه مناطق صحرایی و بیابانی باشد. آن‌ها داده‌های MODIS را با مقایسه چند الگوریتم بازیابی گرد و غبار بکار گرفته و روش جدید برای شناسایی توفان‌های گرد و غبار را به وسیله مادون‌قرمز حرارتی (TIR) و ترکیب باند مرئی مورد ارزیابی قراردادند. وانگ و همکاران (۲۰۱۳)، همبستگی بین AOT[5] از تصاویر MODIS را با داده‌های ایستگاهی دو ایستگاه AERONET برای شهر پکن ارزیابی نمودند. نتایج همبستگی بین این دو، نسبت به محصول سطح دو اتمسفری بیشتر بود. مقادیر رگرسیون برای اکتبر ۲۰۰٤ به ترتیب ۰/٨٦٦ ، ۰/٨٤٥ برآورد شد سپس چهار مدل تجربی برای پیش‌بینی PM2.5 در یازدهم اکتبر ۲۰۱۲ با استفاده از داده‌های AOT یک کیلومتری از MODIS و داده‌های ایستگاهی PM2.5 اکتبر ۲۰۰٤ اجرا شد. نتایج اجرای مدلها با داده‌های ایستگاهی در همان روز مقایسه گردید. تحلیل نقشه‌های توزیع PM2.5 چهار مدل نشان داد مدل درجه دوم که روش SARA نامیده می‌شد با خطای کمتر، پتانسیل معنی‌دار و خوبی برای تشخیص کیفی هوا در مقیاس‌های

1 Kai
2 Gao
3 Zhao
4 Karimi
5 Aerosol Optical Tickness

شهری دارد، و قادر است میزان غلظت PM2.5 را بر روی مناطق شهری به خوبی نشان دهد. حسین‌زاده (۱۳۷٦)، نقش عوامل محلی به ویژه توپوگرافی را در شکل‌گیری باد سیستان و به تبع آن حمل مواد سطحی و شکل‌گیری توفان‌های گرد و غباری در دشت سیستان تأیید می‌نماید. ذوالفقاری و عابد زاده (۱۳۸٤)، طی مطالعه‌ای سیستم های گرد و غبار در غرب ایران را با دیدگاه سینوپتیک مطالعه کرده و نتیجه گرفته‌اند که پرفشار آزور همراه با سیستم های مهاجر بادهای غربی مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر سیستم گرد و غبار منطقه است. همچنین این سیستم ها بسته به شرایط گاهی ایجاد گرد و غبار، گاهی بارندگی و گاهی نیز توأمان گرد و غبار و بارندگی ایجاد می‌کنند. ولی زمانی که پر فشار آزور تقویت‌شده و بر منطقه حاکم می‌شود فروبارهای حرارتی در سطح زمین ایجاد می‌گردند که نقش زیادی در ایجاد گرد و غبار محل دارند. مفیدی و جعفری (۱۳۹۰)، منابع توفان‌های گرد و غباری تابستانه در جنوب غرب ایران را با استفاده از مدل لاگرانژی HYSPLIT و روش ردیابی پسگرد تحلیل کردند. خروجی مدل HYSPLIT نشان داد منابع اصلی گرد و غبار برای توفان‌های جنوب‌غرب ایران محدوده‌ای در حد فاصل مرکز تا شمال عراق، شرق سوریه تا شمال عربستان است. امیدوار و نکونام (۱۳۹۰)، کاربرد گلباد و گل‌غبار را برای تحلیل پدیده گرد و خاک شهر سبزوار بررسی و انجام دادند. نتایج حاصل از تحلیل آماری و تحلیل فضایی داده‌ها نشان داد که به طور متوسط ۱۵ تا ۱۷ روز در سال هوا همراه با گرد و خاک و فصل بهار شایع‌ترین زمان بروز این پدیده است. همچنین بادهایی که در اثر تشکیل سیستم‌های حرارتی در دوره گرم سال از نیمه شرقی به سمت منطقه می‌وزد در ایجاد گرد و خاک محلی و فرامنطقه‌ای نقش مهمی دارند؛ اما سیستم های غربی در انتقال ذرات معلق گرد و خاک از سرزمین‌های دورتر مشهود است. شمسی‌پور و صفرراد (۱۳۹۱)، با استفاده از دو منبع داده‌ای اطلاعات سنجش از دور و نقشه‌های هوا به تحلیل پدیده گرد و غبار تیرماه ۱۳۸۸ در غرب ایران پرداختند. در نمونه انتخابی مورد مطالعه، دامنه‌های زاگرس بالاترین میزان حجم آلاینده‌ها را دارند. همچنین نتایج بیانگر آن است که مکان گزینی محور ناوه و منطقه واگرایی بالایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و شکل‌گیری سلول کم فشار حرارتی در سطح زمین نقش اصلی در شکل‌گیری و هدایت گرد و غبار به سمت ایران است.

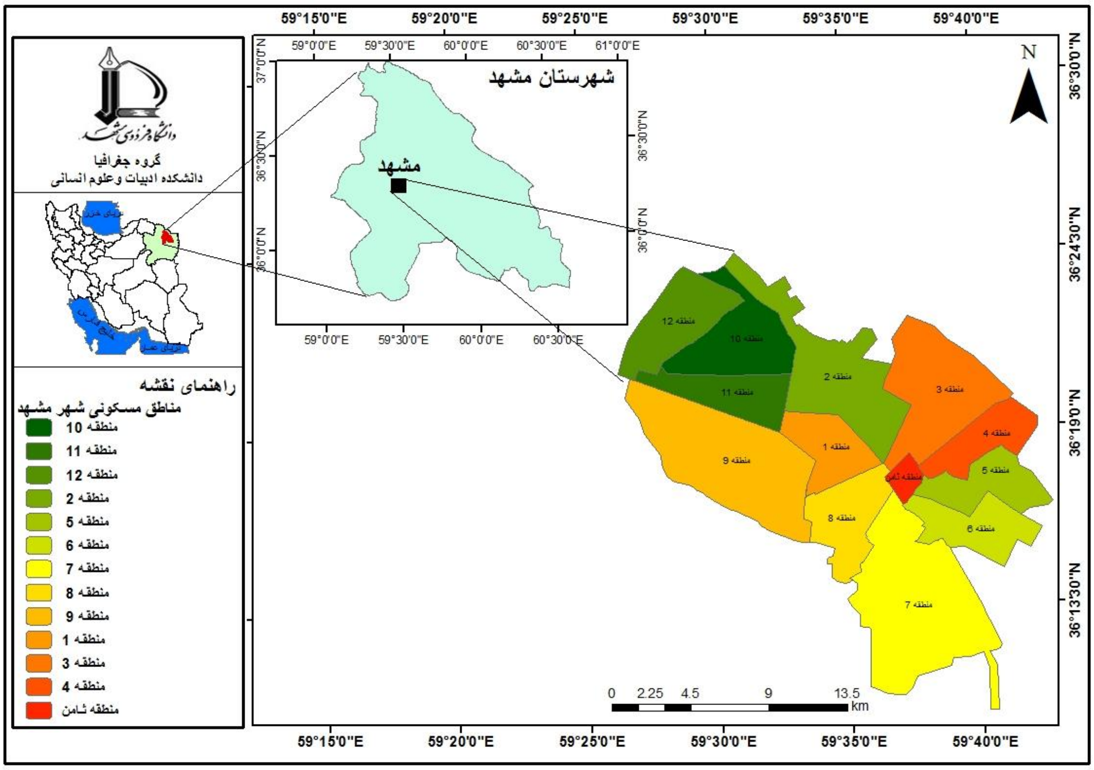
کلان‌شهر مشهد به عنوان دومین کانون جمعیتی کشور و همچنین قرارگرفتن در مجاورت مناطق بیابانی شمال‌شرقی و مسیر شاخه‌ای از بادهای شدید فصل گرم سال از اثر این مخاطره‌ی طبیعی دور نخواهد بود. بنابراین آگاهی از وضعیت موجود این مخاطره، روند و نواحی منشأ آن جزء ضرورت‌های مطالعاتی است. پژوهش‌های معدودی در ارتباط با آلودگی هوای شهر مشهد صورت گرفته است. مطالعه استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در بررسی روابط بین عناصر اقلیمی و نوسانات آلودگی هوا در کلان‌شهر مشهد (سلیقه و کاخکی مهنه، ۱۳۹۲)، بررسی الگوهای همدید مؤثر بر آلودگی هوا در کلان‌شهر مشهد (حسین‌زاده و

همکـاران، ۱۳۹۲)، پـیش‌بینـی ارزش‌گـذاری و ترسـیم نقشـه آلـودگی هـوای شـهر مشـهد(گلریز ضـیائی و همکاران،۱۳۹۰)، بررسی آماری سینوپتیکی آلودگی هوای مشهد (جهانشیری، ۱۳۸۹)، بررسی کارایی سیستم-های کنترل کننده ذرات معلق و تعیین میزان انتشار درکارخانجات آسـفالت مشـهد (منصـوری و علـی نـژاد، ۱۳۸۸)، ارزش‌گذاری ویژگی‌های مختلف آلودگی هـوا در مشـهد (قربـانی و فیـروز زارع، ۱۳۸۸) و بررسـی سینوپتیک اینورژن در مشهد با استفاده از تحلیل عاملی (علیجانی و نجفی نیک، ۱۳۸۸) مـواردی از تحقیقـات انجام شده در این منطقه می‌باشد. تحقیقات صورت گرفته در ارتباط با ذرات معلق و پدیده گـرد و غبـار، در کلان‌شهر مشهد، مطالعات بر پایه تحلیل الگوهای گردش جوی و سینوپتیک یـا انجـام روش‌هـای آمـاری بـا استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی یا آلودگی‌سنج صورت گرفته است. همچنین مطالعـه‌ای کـه چشـمه و منشأ غبار به منطقه مشهد را نشان دهد، تاکنون به وضوح مشخص نگردیده است. با توجه بـه لـزوم پـایش و کنترل آلاینده‌های هوا در کلان‌شهرها و پراکندگی یا فقدان ایستگاه‌های سطح زمینی لازم است از منابع داده‌ای دیگری برای بررسی کیفیت هوا استفاده شود که داده‌های سنجش‌ازدوری و تصاویر ماهواره‌ای از جملـه ایـن منابع هستند. مزیت فناوری ماهواره‌ای نسبت به دیگر روش‌ها پوشش فضایی کامل‌تری می‌دهد که در ترکیب با نمونه‌ها و اندازه‌گیری‌های زمینـی، جهـت تعیـین شـاخص کیفیـت هـوا مـی‌توانـد مفیـد باشـد (ادوارد[1] و همکاران،۲۰۰۶). بدین منظور این تحقیق بر آن است تا با پردازش تصاویر ماهواره‌ای MODIS در ترکیب با روش‌های همدیدی و ردیابی گرد و غبـار بـه روش پسـگرد از خروجـی‌هـای مـدل HYSPLIT نیـز بهـره گیرد.

۲. منطقه مورد مطالعه

مشهد به عنوان دومین کلان‌شهر ایران در شمال‌شرق کشور و به عنوان مرکز استان خراسان رضوی بین ۳٦°۱۰´ تا ۳٦°۲۳´ عرض شمالی و ۵۹°۲۸´ تا ۵۹°٤۳´ طول‌شرقی قرارگرفته است. این شهر در سال ۱۳۹۲ حدود ٥٦۰ کیلومترمربع وسعت داشته و بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، حدود ۳۱۳۰۰۰۰ نفر جمعیت داشته است. شهر مشهد در حوضه آبریز کشف رود بین رشته‌کوه‌های بینالود و هزار مسجد واقع است. ارتفاع متوسط شهر از سطح دریا ۹۸۵ متر و آب و هوای آن نیمه معتدل شامل زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم است. شکل ۱، موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

1 Edwards

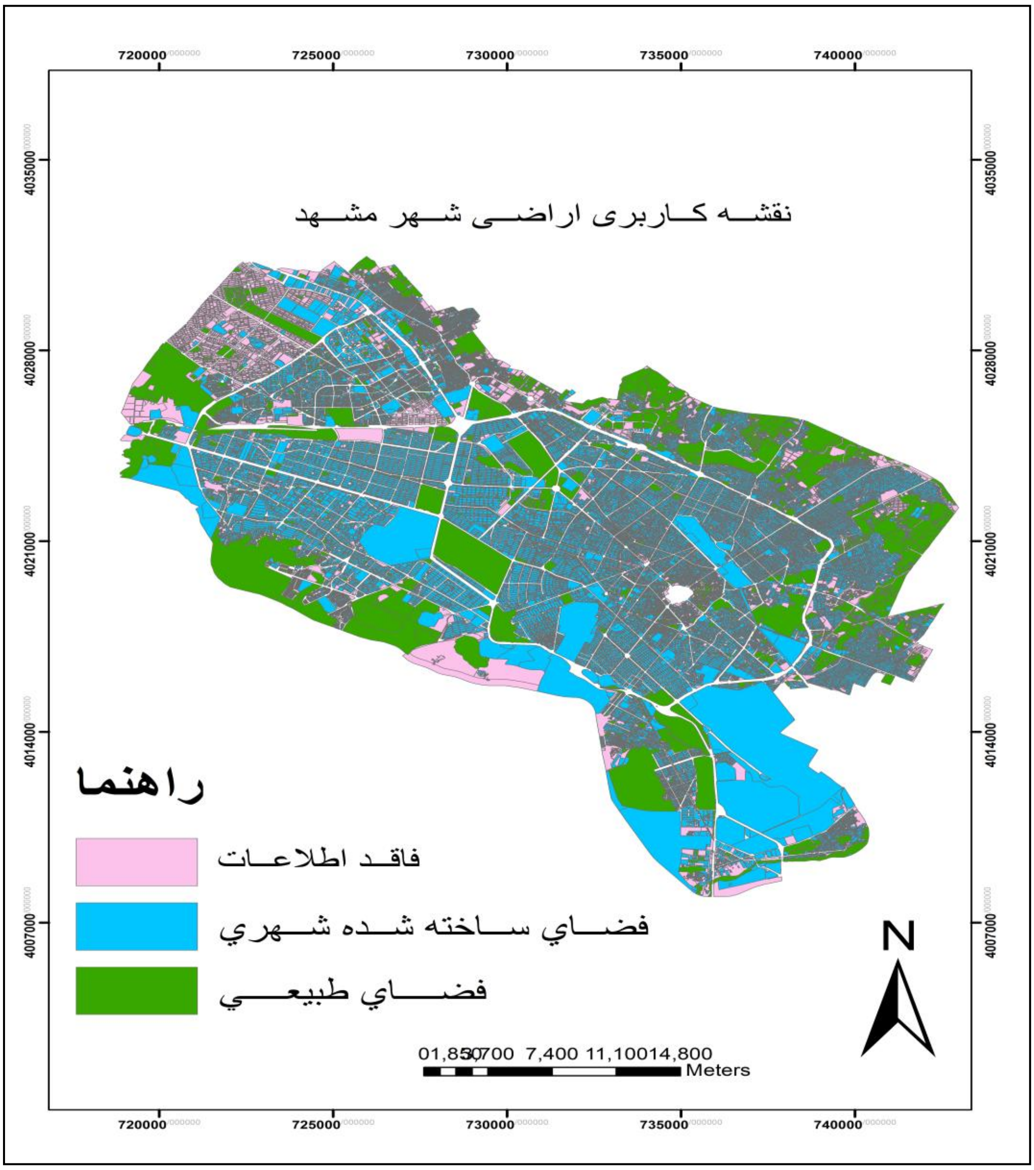


شکل ۱ موقعیت شهر مشهد در نقشه ایران

با توجه به داده‌های فیلد اطلاعاتی نقشه‌های رقومی سازمان شهرداری مشهد، جدول ۱، مربوط به درصد کاربری‌ها از مناطق سیزده‌گانه کلان‌شهر مشهد در دو طبقه‌ی ۱-فضای طبیعی ۲-فضای ساخته شده شهری بدست آمد. با توجه به جدول مذکور منطقه ۱۲ واقع در شمال‌غرب مشهد و منطقه ۵ واقع در جنوب‌شرق مشهد به ترتیب دارای بیشترین درصد مساحت از کاربری فضای طبیعی را شامل می‌شود. در این نواحی بیشترین مساحت مربوط به زمین‌های فاقد کاربری و بایر می‌باشد که بالطبع در افزایش میزان پدیده گرد و غبار تأثیرگذار است. شکل شماره ۲، نقشه کاربری اراضی شهر مشهد را نشان می‌دهد.

جدول۱ درصد مساحت کاربری اراضی کلان‌شهر مشهد

مناطق شهری	۱	۲	۳	٤	۵	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	ثامن
فضای طبیعی	۷/۶۳	۲۷/۱۷	۳۲/۸	۲۷/۸۲	۵٤/۸۹	۱۹/۲۸	۲۰/۸۷	۱۰/۱۱	۲۷/۰٦	۱۱/۹۲	۲۹/۷۵	۷٤/۷۷	۹/۲۷
فضای شهری	۷۹/٦۹	۵٤/۱٤	٤٦/۹۹	۵۲/۷۱	۳۵/۹۱	۵۲/۷۳	۲۵/۸۸	۳۸/۳۹	۲۹/٦۹	۵۷/۷۱	۵۰/۳۳	۸/۹٦	۵۵/۳۸



شکل ۲ کاربری اراضی شهر مشهد

۳. مواد و روش ها

۳-۱. داده ها

مواد تحقیق شامل، داده‌های هواشناسی مربوط به کُدِ غباری ۰۶، نقشه‌های همدیدی و تصاویر ماهواره‌ای MODIS روزهای غباری است. داده‌های گروه اول برای دوره‌ی آماری ۲۰۱۳-۲۰۰۹ و برای ایستگاه سینوپتیک مشهد در مقاطع ۸ ساعته، از سازمان هواشناسی خراسان رضوی اخذ و در محیط Excel در قالب جدول ماهانه (جدول ۲) تنظیم شد.

جدول ۲ فراوانی ماهانه تعداد روزهای گرد و غبار شهر مشهد طی دوره آماری ۲۰۱۳– ۲۰۰۹

	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	جمع
۲۰۰۹	۰	۱	۲	۰	۰	۳	۷	۱	۰	۰	۱	۰	۱۵
۲۰۱۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲
۲۰۱۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۲	۰	۰	۵
۲۰۱۲	۱	۰	۲	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	٤
۲۰۱۳	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۳	۲	۱	۰	۰	۰	۷
جمع	۱	۱	٤	۳	۱	۵	۱۰	٤	۱	۲	۱	۰	۳۳

دسته دوم شامل داده‌های شبکه‌ای اقلیمی با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵×۲/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی و با فرمت Netcdf [1] به صورت چهارنوبت در روز از وب‌گاه NCEP/NCAR است. نقشه‌های سینوپتیک روزهای غباری در محیط Grads در محدوده‌ی ۵۵–۲۵ درجه عرض شمالی و ۸۵–۳۵ درجه طول شرقی ترسیم و تحلیل گردید. برای ترسیم نقشه جریان هوا و تحلیل مسیر گرد و غبار از برآیند مؤلفه‌های باد مداری (U) و نصف النهاری (V) استفاده شد. همچنین آرایش الگوهای سرعت قائم باد (اُمگا) و خطوط ارتفاع ژئوپتانسیل (HGT) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای مطالعه شکل‌گیری مناطق برداشت گرد و غبار مورد تحلیل قرار گرفت.

دسته سوم شامل تصاویر کالیبره شده‌ی محصول سطح یک اتمسفری MODIS با قدرت تفکیک یک کیلومتر و با فرمت HDF[2] می‌باشد. مجموعاً تعداد ١٦ تصویر همزمان با روزهای غباری از تاریخ ۲۰۰۹/۰۳/١٦ تا ۲۰۱۳/۱۰/۳۰، از پایگاه GODDARD سازمان فضایی ناسا[3] تهیه شد. اساس بازیابی اطلاعات از هواویزه‌ها بر اختلاف بین بازتابندگی رسیده به سنجنده استوار است (کافمن[4]،۱۹۹۸). اختلاف بسیار دمای درخشندگی ذرات معلق در برخی از محدوده‌های طیف الکترومغناطیس (محدوده طول موج حرارتی)، با عوارض زمینی امکان آشکارسازی این ذرات را به خوبی فراهم می‌کند. ضمن آنکه، استفاده از

1 Network Common Data Form
2 Hierarchical Data Format
3 National Aeronautics and Space Administration (NASA)
4 Kaufman

تفاضلِ دمای درخشندگی میان دو، سه یا چهار باند از میان داده‌های سنجنده MODIS روند آشکارسازی را بسیار سریع‌تر و ساده‌تر می‌کند (مباشری و غفوری، ۱۳۸۵). باندهای ۱، ۲، ۳، ٤، ۳۱ و ۳۲ سنجنده MODIS، (جدول ۳) جهت آشکارسازی گرد و غبار در این تحقیق استفاده شده است.

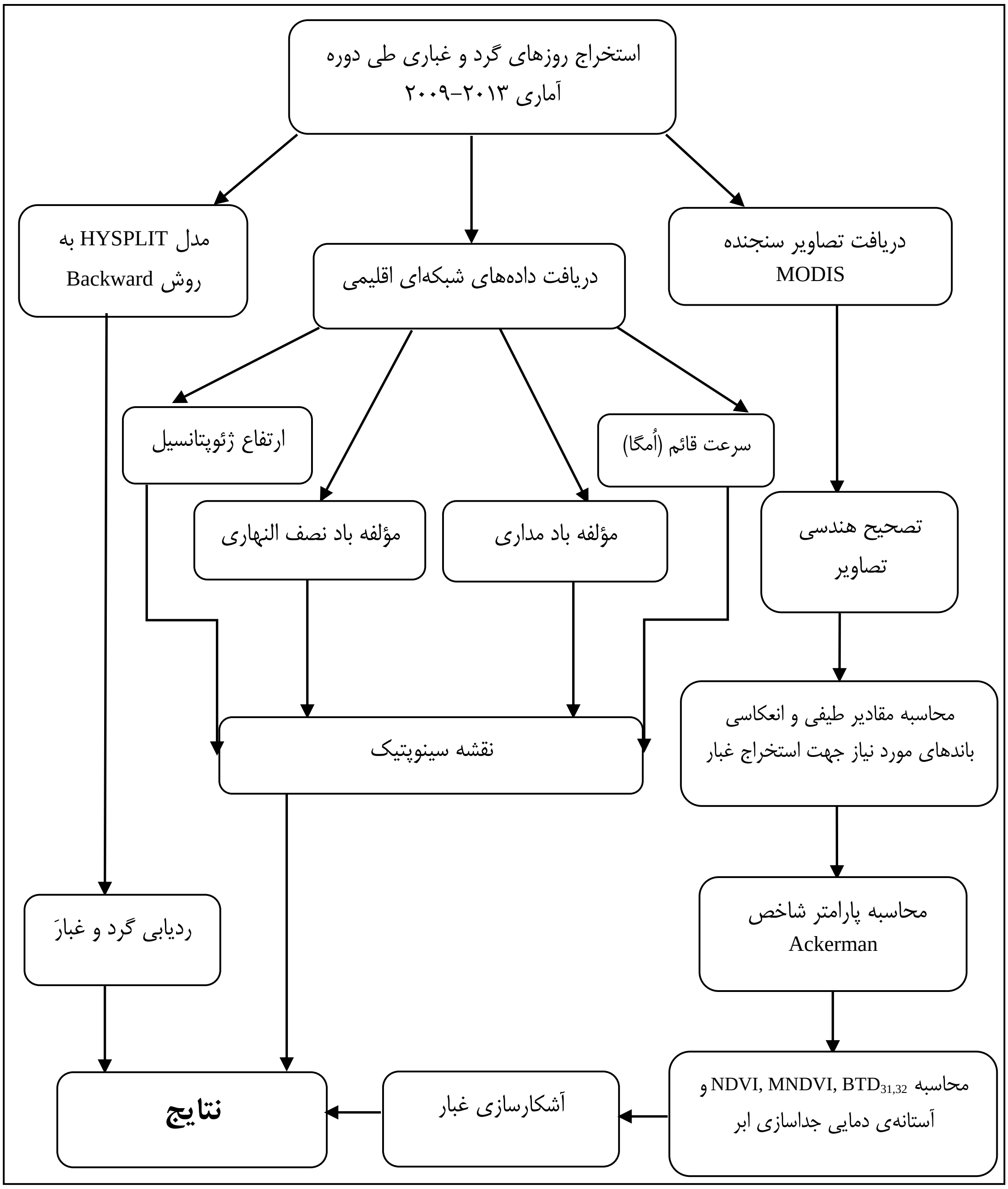
جدول ۳ مشخصات فنی باندهای مورد استفاده در این تحقیق

شماره باند	۱	۲	۳	۴	۳۱	۳۲
ابعاد پیکسل زمینی در دید پاسو (متر) Nadir	۲۵۰	۲۵۰	۵۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
عرض باند برحسب µm	۰/٦۲۰–۰/٦۷۰	۰/۸٤۱–۰/۸۷٦	۰/٤٥۹–۰/٤۷۹	۰/٥٤٥–۰/٥٦٥	۱۰/۷۸۰–۱۱/۲۸۰	۱۱/۷۷۰–۱۲/۲۷۰

دسته چهارم، داده‌های میانگینِ روزانه‌ی ذرات‌معلق (PM_{10}) ایستگاه‌های آلاینده‌سنجی(خیام، وحدت، طرق، سجاد) در سال ۲۰۱۱ است که برای اعتبار سنجی داده‌های روزانه AOD سنجنده MODIS در همان سال به‌کار رفته است.

دسته پنجم ، خروجی مدل لاگرانژی[1] HYSPLIT به روش پسگرد، جهت ردیابی منشأ غبار بر روی شهر مشهد می‌باشد. در این تحقیق، مدل HYSPLIT با هدف تعیین مسیر حرکت و منشأ غبارهای رسیده به شهر مشهد در خارج از ایستگاه استفاده می‌شود. مسیر ذرات گرد و غبار برای ٢٤ ساعت قبل از رخدادِ غبار بر اساسِ ساعات وقوع پدیده غبار روی منطقه در نظر گرفته شد. داده‌های ورودی مدل برگرفته از داده‌های بازتحلیل شده NCEP[2]/Reanalysis بوده است. همچنین روش محاسبه جریانات به صورت خطوط هم‌-فشار (Isobaric)، با گام زمانی اجرای مدل ٦ ساعته و در ترازهای ارتفاعی ۵۰ و ۱۰۰۰ متر از سطح زمین صورت گرفت. ردیابی مسیر ذرات برای تمام نمونه‌های انتخابی انجام و در نهایت با بررسی خروجی‌های حاصل از مدل، مسیر انتقال غبار به روی شهر مشهد مشخص گردید. روند انجام مراحل مورد اجرا در این تحقیق طبق شکل ۳، تنظیم و نشان داده شده است.

1 Lagrangian
2 National Center for Environment Predicting



شکل ۳ روند انجام مراحل تحقیق

۳-۲. روش‌ها

تحقیق حاضر بر اساس ماهیت و روش، یک تحقیق تحلیلی-توصیفیِ موردی به شمار می‌رود. که شیوه تجزیه و تحلیل اطلاعات و داده‌های تحقیق به روش کمی و با استفاده از آمار توصیفی و همچنین تجزیه و تحلیل فضایی

صورت گرفته است. جهت آشکارسازی غبار در تصاویر زمین مرجع شده در این تحقیق، شاخص اکرمن (اکرمن، ۱۹۹۷) بر پایه اختلاف دمای درخشایی (BTD) بین باندهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتر و پارامتر MNDVI جهت جداسازی مناطق بیابان و خشک و آستانه دمایی ۲۹۰درجه کلوین در باند ۳۲ برای جداسازی مناطق ابری از گرد و غبار به کار رفت. بدین منظور، جهت پیاده کردن این شبیه‌سازی ابتدا برای تمام تصاویر موجود، پس از تبدیل کردن مقدار رقومی تصاویر به رادیانس[1]، با استفاده از معادله پلانک[2] (اکزا[3]،۲۰۱۰)، مقادیر رادیانس باندهای حرارتی (باندهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتر) به دمای درخشایی تبدیل شد.

$$T = \frac{hc}{\lambda_i k \ln(\frac{2hc^2}{L(\lambda_i)\lambda_i^5}) + 1} \qquad (۱$$

در اینجا به بیان مراحل انجام آشکارسازی گرد و غبار بدین شرح می‌پردازیم: در مرحله اول، ابتدا مقدار شاخص پوشش گیاهی(NDVI) برای هر تصویر از رابطه‌ی شماره ۲ محاسبه شد.

$$NDVI = (\rho_{0.855} - \rho_{0.645}) / (\rho_{0.855} + \rho_{0.645}) \qquad (۲$$

در این فرمول: $\rho_{0.645}$ مقدار رادیانس باند ۱ و $\rho_{0.855}$ مقدار رادیانس باند ۲ تصاویر MODIS می‌باشد.

در مرحله دوم با استفاده از رابطه‌ی شماره ۳، مناطق بیابانی و سطوح خشکی با شاخص MNDVI از تصاویر حذف و جدا گردید. که در این تحقیق آستانه کوچکتر از ۲ برای مناطق دارای گرد و غبار اعمال شد.

$$MNDVI = (NDVI)^2 / (\rho_{0.645} \times \rho_{0.645}) \qquad (۳$$

در سومین مرحله مقادیر اختلاف دمای درخشایی (BTD)، طول موج‌های ۱۱میکرومتر (باند ۳۱) و ۱۲ میکرومتر (باند ۳۲) از طریق رابطه‌ی شماره ٤ محاسبه شد.

$$BT_{11\mu m} - BT_{12\mu m} \leq 0 \qquad (٤$$

در این فرمول: $BT_{11\mu m}$ دمای درخشایی در باند ۳۱ و $BT_{12\mu m}$ دمای درخشایی در باند ۳۲ تصاویر MODIS که مقادیر کوچکتر و یا مساوی، برای مناطق دارای غبار صدق می‌کند.

---

1 T : دمای درخشایی

h ضریب ثابت پلانک برابر با : Js۶,۶۲۶۵×۱۰-۳۴

C : m/s ۲,۹۹۸×۱۰۸

k ثابت بولتزمن برابر با : K/J۱,۳۸۰۶۵۵۸×۱۰-۲۳

$L(\lambda_i)$ مقادیر رادیانس باند : i

λ_i طول‌موج مرکزی باند i: بر حسب میکرومتر μm

2 Planck

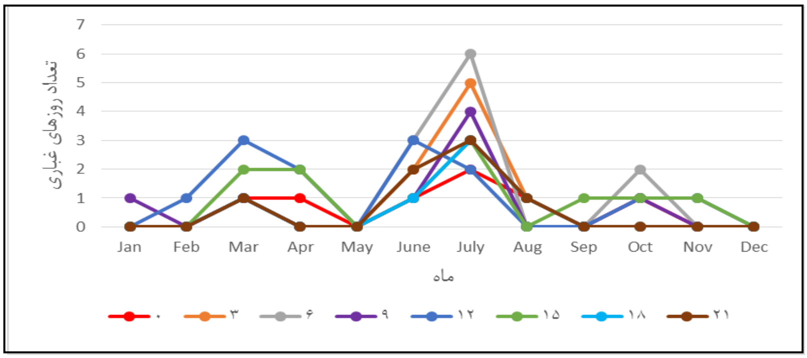
3 Xia

در مرحله چهارم، آستانه دمایی ۲۹۰ کلوین برای جداسازی مناطق با پوشش ابر از پدیده گرد و غبار در باند ۳۲ تصاویر MODIS مورد استفاده قرار گرفت. در پایان برای نمایش گرد و غبار به ترتیب، از تصویر تعیین حدود شده (R) و باندهای ٤ (G) و ۳ (B) یک تصویر RGB، بدست آمد که در آن غبار به رنگ قرمز قابل رؤیت است.

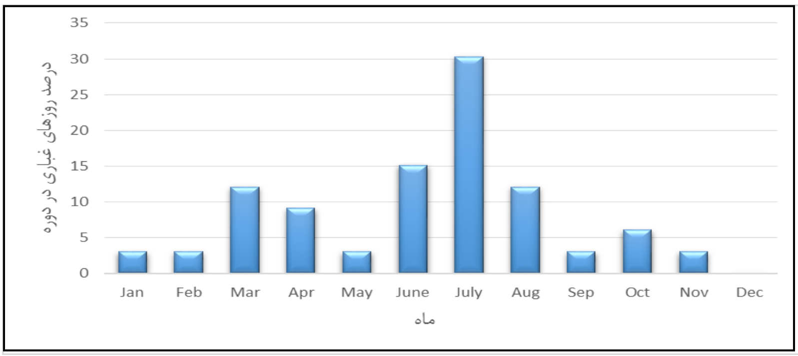
٤. بحث و نتایج

٤-۱. فراوانی روزهای گرد و غباری

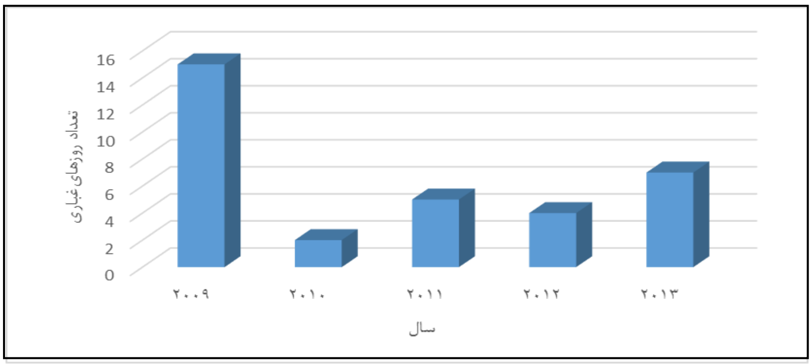
اشکال شماره ٤ و ٥ و ٦ به ترتیب تغییرات ساعتی ماهانه‌ی گرد و غبار و درصد میانگین ماهانه و فراوانی سالانه‌ی گرد و غبار در کلان‌شهر مشهد را طی دوره آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر این اساس، ساعات دیده‌بانی ۰۳، ۰٦ و ۰۹ ماه جولای و ۱۲ ماه ژوئن و ۱۲ و ۱٥ ماه مارس از بالاترین میانگینِ میزان وقوع غبار برخوردار بوده است. در مقابل ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر حداقل میزان ساعات غباری را داشته‌اند. ماه-های جولای، ژوئن، مارس و آگوست بیشترین و ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر از کمترین درصد ماهانه روزهای گرد و غباری طی دوره مذکور برخوردار بوده است. همچنین با توجه به شکل ٦ بیشترین رخداد گرد و غبار در این دوره مربوط به سال ۲۰۰۹ بوده است.



شکل ٤ تغییرات ساعتی گرد و غبار در کلان‌شهر مشهد (۲۰۱۳-۲۰۰۹)



شکل ٥ درصد میانگین ماهانه گرد و غبار در کلان‌شهر مشهد (۲۰۱۳-۲۰۰۹)

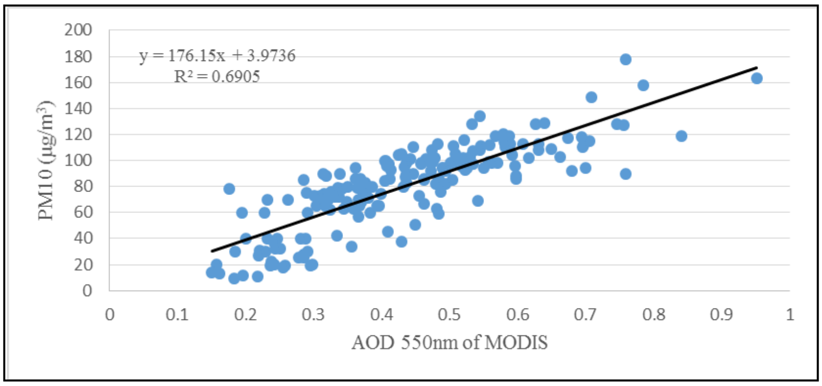


شکل ٦ فراوانی سالانه‌ی روزهای غباری در کلان‌شهر مشهد (۲۰۱۳-۲۰۰۹)

٤-٢. تحلیل داده‌های ماهواره‌ای

٤-٢-١. اعتبارسنجی AOD تصاویر MODIS و داده‌های زمینی PM_{10}

اعتبارسنجی داده‌های ماهواره‌ای از رابطه‌ی همبستگی و معادله‌ی خط رگرسیون داده‌های ایستگاهیِ پارامتر ذرات معلق PM_{10} در سال ۲۰۱۱ به‌عنوان متغیر وابسته و داده‌های روزانه AOD سنجنده MODIS در همان سال، به عنوان متغیر مستقل انجام گرفته است(شکل ۷). داده‌های AOD 550nm از وب‌گاه NASA[1] دریافت شد. در این تحلیل حدود ٦٩ درصد تغییرات متغیر وابسته PM_{10}، توسط متغیر مستقل MODIS AOD 550nm تبیین می‌شود. مقادیر بدست آمده طبق شکل ۷، نشان می‌دهد؛ که دو پارامتر اعتبارسنجی شده نسبت به هم، از همبستگی خوبی برخوردار می‌باشند.



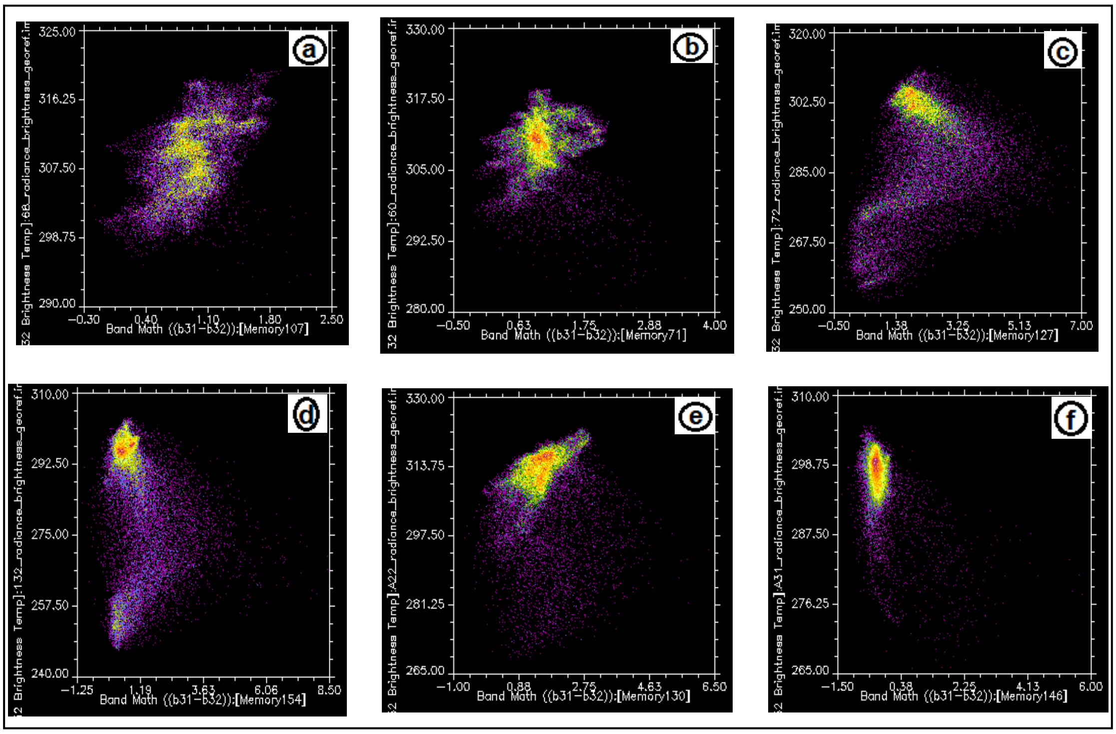
شکل ۷ نمودار همبستگی مقادیر روزانه‌ی داده‌های PM_{10} و AOD سال ۲۰۱۱ در کلان‌شهر مشهد

٤-٢-٢. شاخص شناسایی گرد و غبار با اختلاف دمای درخشایی $BTD_{31,32}$

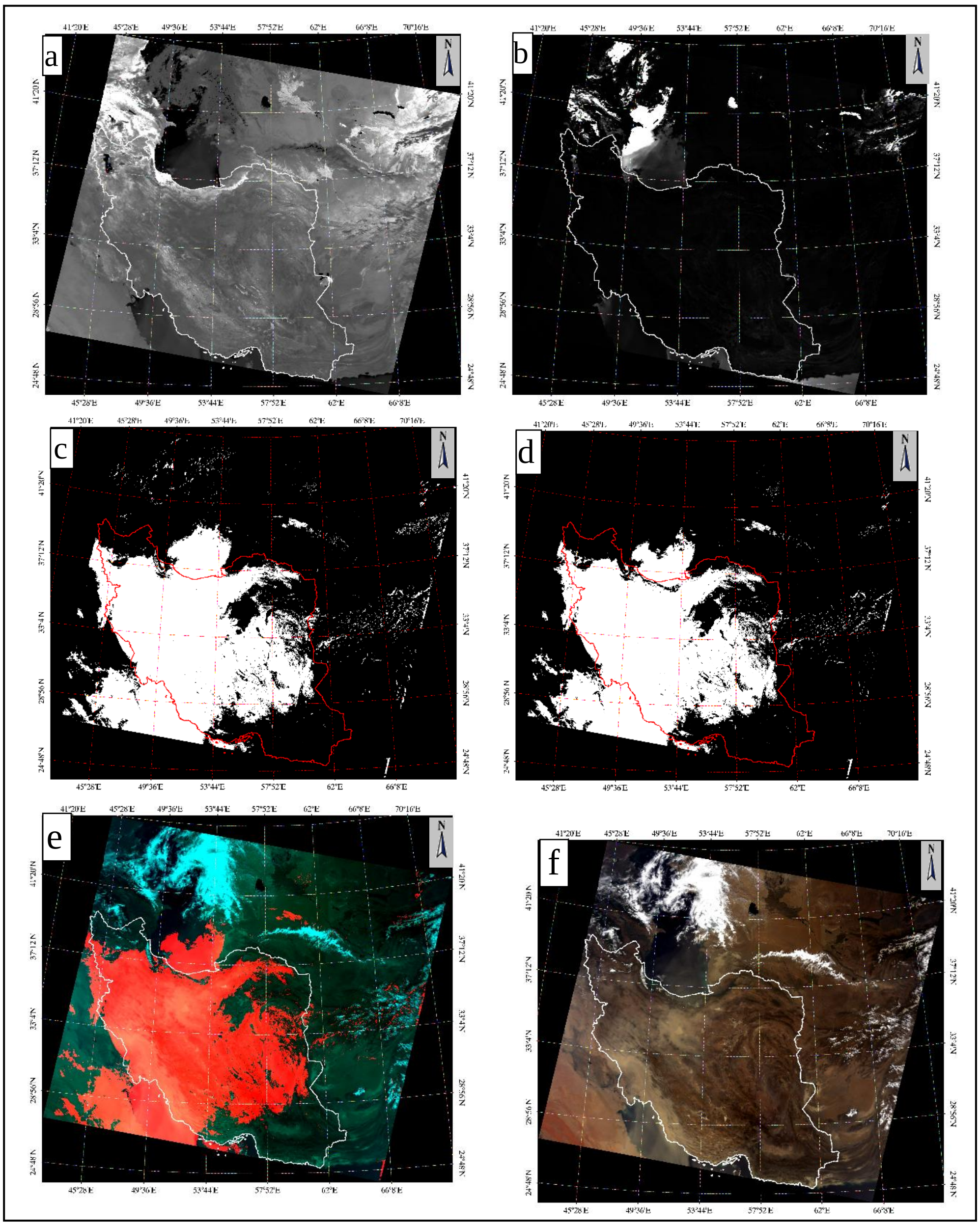
این شاخص به جهت استفاده از باندهای حرارتی و مرئی نتیجه قابل قبولی را در آشکارسازی غبار بر روی منطقه نشان داد. اجرای الگوریتم این شاخص، طی چهار مرحله محاسبه، بر روی باندهای تصویر به بارزسازی غبار انجامید. در

1 http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni

مرحله اول محاسبات باندی با تعیین مقدار NDVI، میزان بازتابندگی تصویر مشخص و سپس پیکسل‌های سطوح خشکی بر روی تصویر با اجرای شاخص MNDVI با حد آستانه کمتر از ۲، حذف و در مرحله سوم با محاسبه اختلاف دمای درخشایی در باندهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتر و تعیین حد آستانه کمتر از ۰/۵، گرد و غبار در جو آشکار گردید. سپس پهنه‌های ابر، آب و یخ بر روی تصویر از گرد و غبار جدا و حد آستانه دمایی بیشتر از ۲۹۰درجه کلوین در باند ۳۲ سنجنده مودیس استفاده شد. جهت دستیابی آسان به حدود آستانه در هر مرحله برای هر تصویر، نمودار پراکنش دمای درخشایی برای هر تصویر (شکل ۸)، روی منطقه مورد مطالعه تهیه شد. هر نمودار از شکل مذکور مبین پدیده‌ی گرد و غبار برای مقادیر BT_{11} و BT_{12} می‌باشد. همان‌طور که مشخص است ابر مقادیر دمای کمتری را نشان می‌دهد، در صورتی‌که پدیده‌ی گرد و غبار دماهای بالاتری را نشان می‌دهد. پس از اجرای چهار مرحله مذکور برای هر تصویر، نواحی با پوشش غبار به رنگ سفید و کُد یک، نواحی فاقد غبار به رنگ مشکی و کُد صفر نمایان و در نهایت نمایش غبار، با ایجاد ترکیب باندی (RGB) و به صورتِ رنگی، بر روی منطقه صورت گرفت. در این مرحله، تصویر حاصل از مرحله چهارم و باندهای ٤ و ۳ به ترتیب، به صورت RGB تهیه شد. غبار در این مرحله به رنگ قرمز نمایش داده می‌شود. شکل ۹، مراحل بارزسازی گرد و غبار را در هر مرحله بر روی هر تصویر نشان می‌دهد.



شکل ۸ نمودار پراکنش اختلاف دمای درخشایی، محور X (BT_{31}-BT_{32}) ، آستانه دمای درخشایی محور Y (BT_{32}) روی شهر مشهد طی روزهای آماری مورد مطالعه؛ نواحی رنگ قرمز گرد و غبار، نواحی بنفش پهنه‌های آب و ابر، نواحی زرد سایر سطوح خشکی می‌باشد. نمودارها مربوط به تاریخ a) ۲۰۰۹/۰۷/۰۲، b)۲۰۰۹/۰٦/۲۸، c)۲۰۰۹/۰۷/۰۳، d) ۲۰۱۱/۱۰/۲۰، e)۲۰۱۲/۰٦/۲۳، f)۲۰۱۳/۰۳/۱٦ می‌باشد.



شکل ۹ مراحل بارزسازی پدیده‌ی گرد و غبار بر روی تصاویر با استفاده از اختلاف دمای درخشایی ($BTD_{31,32}$)، (تصویر مربوط به تاریخ ۲۰۰۹/۰۷/۰۶)

a) محاسبه NDVI، برای تعیین بازتابندگیِ سطح. b) محاسبه MNDVI برای حذف سطوح خشکی و بیابان. c) محاسبه $BTD_{31,32}$، آشکار سازی ابر و غبار. d) محاسبه آستانه دمایی باند ۳۲ (جداسازی پهنه‌های آب، ابر و یخ) و آشکارسازی غبار. e) آشکارسازی غبار به رنگ قرمز به روش ترکیب باندی به صورت RGB، f) تصویر رنگ حقیقی (TCC) از توفان گرد و غبار.

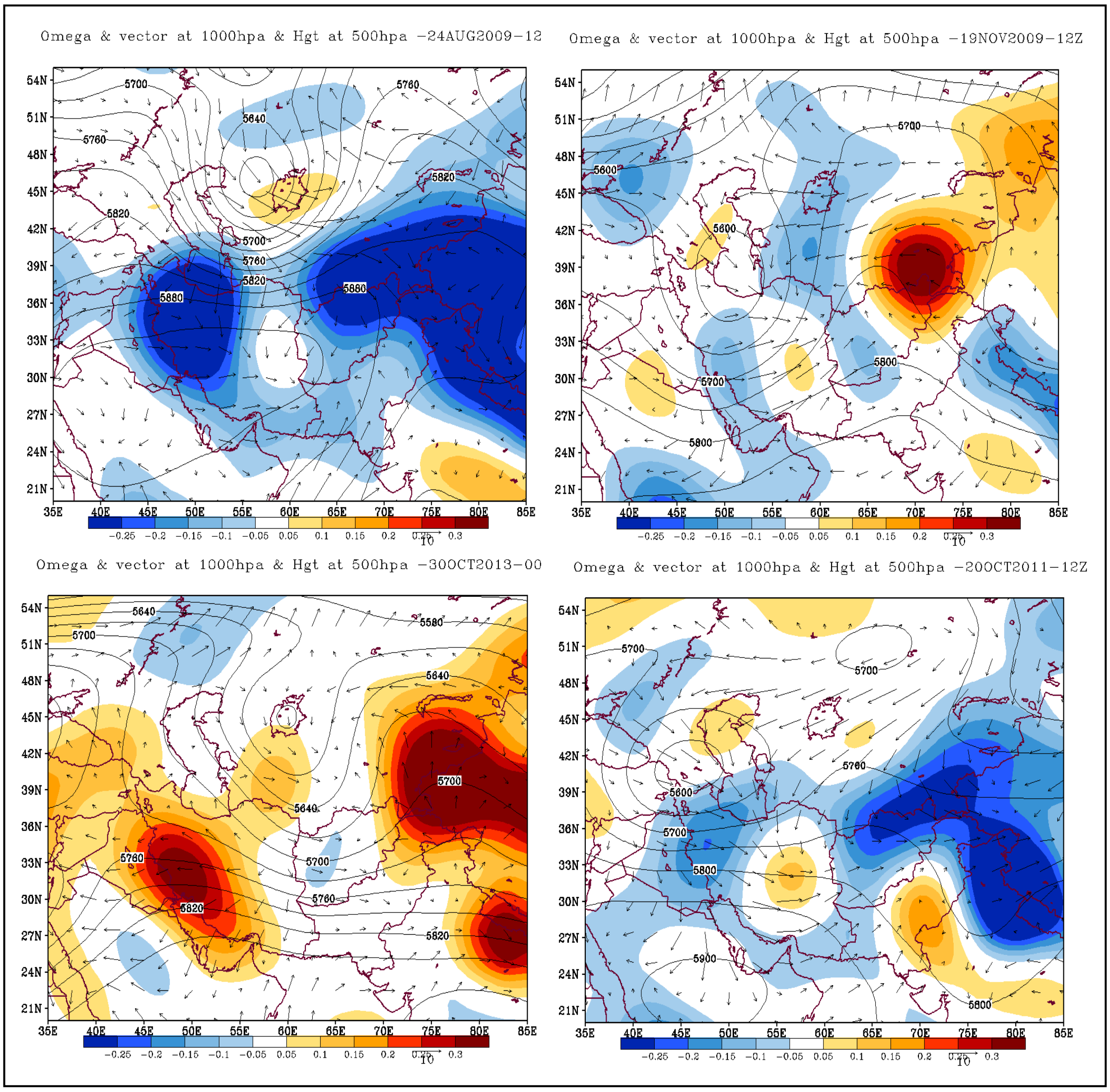
در تصاویر $BTD_{31,32}$ محاسبه شده، نواحی غباری دارای اعداد نزدیک به صفر و کمتر از آن می‌باشند، به طوری‌که می‌توان در بیشتر تصاویر با به کار بردن آستانه‌ی ۰/۵> مناطق غبـاری را بـه خـوبی تفکیـک نمود. سایر سطوح دارای مقادیر بیشتر از این آستانه و بالاترین اختلاف درجه‌ی روشنایی مربوط به نواحی ابری با تراکم بالا می‌باشد. با توجه به نقشه تقسیمات ناحیه‌بندی شهر مشهد (شکل ۱)، و نتـایج بررسـی و پردازش تصاویرِ ماهواره‌ای رخدادهای پدیده گرد و غبار با استفاده از اختلاف دمای درخشایی $BTD_{31,32}$ (شکل ۱۰)، الگوی مکانی گرد و غبار در کلان‌شهر مشهد بر اساس نمونه‌هـای ذکـر شـده در ایـن تحقیـق نشان می‌دهد که شمال‌غرب، غرب و جنوب کلان‌شهر مشهد در همه موارد مطالعه شـده، پوشـیده از غبـار بوده است. بدین ترتیب به نظر می‌رسد نواحی ۱، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ واقع در ایـن منـاطق شـرایط غبـاری بیشتری را نسبت به دیگر نواحیِ مشهد تجربه می‌نمایند. همچنین تحلیل‌ها نشـان مـی‌دهـد حواشـی شـهر مشهد به صورتِ نواری در اطراف کلان‌شهر مشهد نسبت به نواحی مرکز شهر در معرض آلـودگی غبـاری بیشتری قرار دارد.

٤-٣. تحلیل سینوپتیک وقوع پدیده‌ی گرد و غبار

جهت بررسی شرایط سینوپتیک در روزهای وقوع پدیده‌ی گرد و غبار، نقشه‌های همدید همزمان با تصاویر و برای ساعت ۱۲ ظهر به وقت محلی به عنوان میانگین زمانیِ روز غباری، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. با توجه به شکل ۱۱، در این ایام عمدتاً بر روی ایران در تراز میانی جو پرارتفاع و با مقادیر اُمگای منفی، صعود و ناپایداری در مناطق کانون موجب شده که در صورت نبود رطوبت در هوای منطقه، وقوع گرد و غبار را در پی خواهد داشت. در این شرایط اُمگا در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در دوره گرم سال در شرایط پرارتفاع به دلیل تابش طولانی و شدید آفتاب از نوع حرارتی و در حالت کم ارتفاع از نوع دینامیک خواهد بود. همچنین با توجه به مسیر حرکت و سرعتِ باد در سطح زمین و غلبه جریانات، به صورت شمالی – جنوبی، به نظر می‌رسد که گرد و غبار را از روی مناطق کانونی خود را به سوی شمال‌شرق ایران و شهر مشهد برساند. به طور کلی، با توجه به نقشه‌ی روزهای غباری می‌توان بیان کرد که اصلی‌ترین و نزدیک‌ترین کانون و منشأ گرد و غبارهایِ منطقه‌ی کلان‌شهر مشهد، در شرق منطقه و بر رویِ افغانستان و شرق ترکمنستان قرار دارد. در کلیه‌ی نقشه‌های سینوپتیک مرتبط با روزهای غباری در دوره‌ی آماری مورد مطالعه، وضعیت همدیدی مشابه مذکور دیده شد.



شکل ۱۰ تصاویر بارزسازی شده‌ی غبار بر روی شهر مشهد طی دوره‌ی آماری ۲۰۱۳–۲۰۰۹؛ تاریخ ۲۰۰۹/۰۶/۲۸ (a)، ۲۰۰۹/۰۶/۲۹ (b)، ۲۰۰۹/۰۷/۰۲ (c)، ۲۰۰۹/۰۷/۰۳ (d)، ۲۰۰۹/۰۷/۰۵ (e)، ۲۰۰۹/۰۷/۰۶ (f)، ۲۰۰۹/۰۷/۰۷ (g)، ۲۰۰۹/۰۷/۰۹ (h)، ۲۰۰۹/۰۸/۲٤ (i)، ۲۰۰۹/۱۱/۱۹ (j)، ۲۰۰۹/۰۳/۱٦ (k)، ۲۰۱۱/۰٦/۱۳ (l)، ۲۰۱۱/۱۰/۲۰ (m)، ۲۰۱۲/۰٦/۲۳ (n)، ۲۰۱۳/۰۹/۰۷ (o)، ۲۰۱۳/۱۰/۳۰ (p).

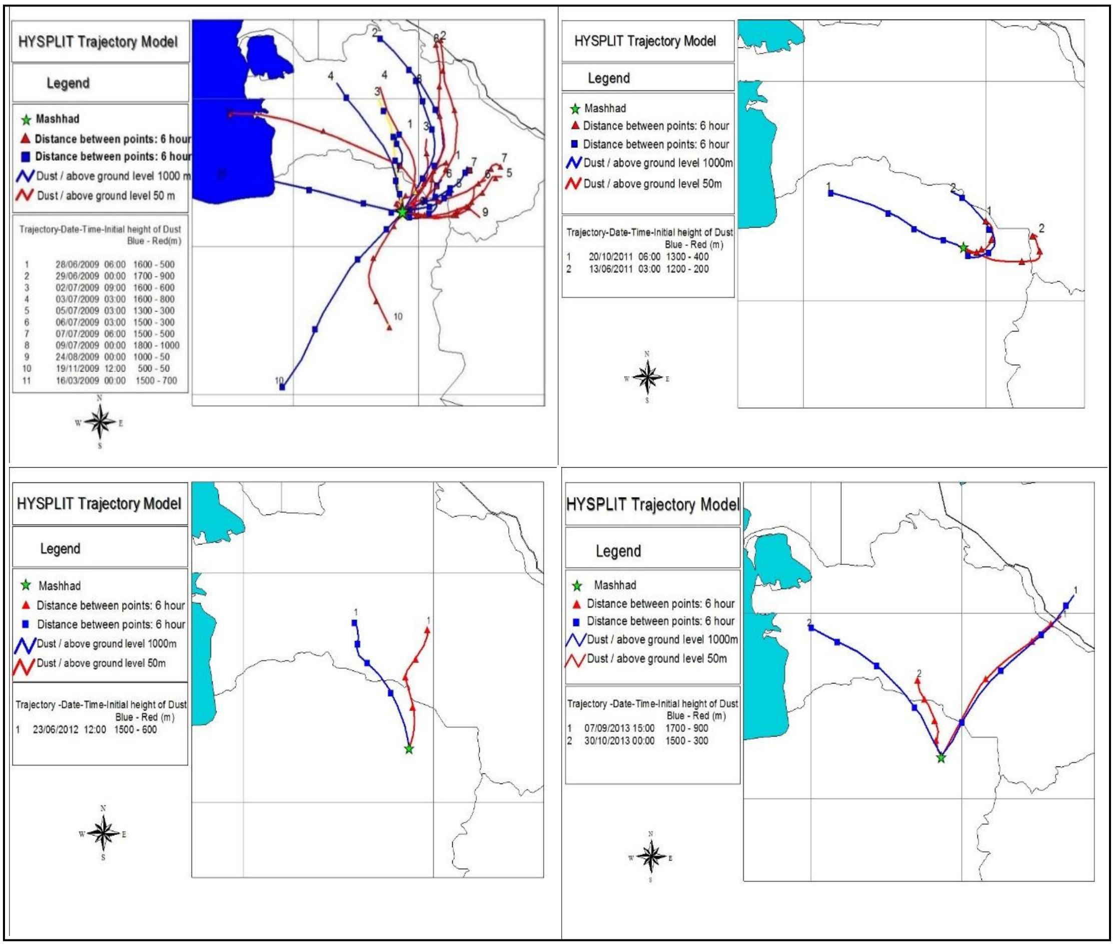


شکل ۱۱ آرایش اُمگای سطحی و آرایش خطوط هم ارتفاع در تراز میانی جو و جریانات در سطح زمین؛ در روزهای مورد مطالعه طی دوره‌ی آماری ۲۰۱۳-۲۰۰۹

٤-٤. ردیابی مسیر ذرات گرد و غبار

با شروع اولین ساعت گزارش شده غبار، مسیر ذرات تا ۲٤ ساعت قبل از زمان مذکور مورد بررسی قرار گرفت. بررسی مسیر ذرات غبار، برای ارتفاع ۵۰ متر (خط قرمز) و ۱۰۰۰ متر بالای سطح زمین (خط آبی) در شهر مشهد با گام زمانی ٦ ساعته، همچنین ارتفاع غبار در مسیر شروع تا زمان رسیدن به ایستگاه برای هر رخداد غبار به تفکیک ذکر گردیده است. بررسی نقشه‌های خروجی مدل نشان می‌دهد که سه مسیر کلی، در انتقال ذرات غبار به شهر مشهد، قابل تشخیص است. در بیشتر رخدادها که با منشأ بیابان‌های ترکمنستان و آسیای‌مرکزی، مسیر اصلی هدایت غبار به منطقه‌ی شمال‌شرق-جنوب‌غرب بوده و بیش‌تر در دوره گرم سال

قابل مشاهده است. مسیر دوم، شمال‌غربی – جنوب‌شرقی که با غلبه در دوره سرد سال و مسیر سوم، جنوب‌-غربی–شمال‌شرقی می‌باشد و با غلبه در دوره‌ی سرد سال فراوانی کمتری را تشکیل می‌دهند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲ردیابی مسیر ذرات گرد و غبار با مدل HYSPLIT، برای ۲٤ ساعت قبل از اولین رخداد طی هر سال

۵. نتیجه گیری

با توجه به آمار و اطلاعاتِ تهیه شده مربوط به پدیده‌ی گرد و غبار از سازمان هواشناسی خراسان رضوی مشخص شد که بیشینه وقوع رخداد گرد و غبار در طی ساعات شبانه‌روزی در همه‌ی رخدادهای غباری مشاهده شده‌ی تحقیق در کلان‌شهر مشهد در ساعات صبح و به ترتیب طی ساعات ۰۳، ۰٦ و ۰۹، به وقت محلی با میزان ۵ و ٦ و ٤ روز در ماه جولای، کمترین میزان در ساعت صفر به وقت محلی و در اکثر ماه‌های سال طی دوره آماری مورد مطالعه رخ می‌دهد. به لحاظ بررسی ماهانه بیشترین رخدادهای غباری در کلان-شهر مشهد با توجه به جدول ۱، به ترتیب در ماه‌های جولای ۱۰ روز، ژوئن ۵ روز آگوست و مارس ٤ روز،

در دوره مطالعاتی می‌باشد. کمترین میزان ماهانه ثبت شده در ماه دسامبر بدون غبار، طی دوره سرد سال به وقوع پیوسته است. ویژگی‌های شاخص دمای درخشایی توانست، روی تصاویر ماهواره‌ای نواحی پوشیده از غبار روی شهر مشهد را بارزسازی نماید. همچنین تحلیل همدیدی از روزهای وقوع غبار نیز در شناسایی و یافتن منشأ و نحوه انتقال گرد و غبار را فراهم کرد. در نمونه روزهای غباری مورد مطالعه با روش همدید مشخص شد که منطقه‌ی افغانستان و قسمتی از ترکمنستان واقع در شمال‌شرق کلان‌شهر مشهد به عنوان کانون‌های اصلی توده‌ی گرد و غباری رسیده به شهر مشهد را فراهم می‌آورد. خروجی نقشه‌های مدل HYSPLIT نیز هم‌پوشانی خوبی با نقشه‌های همدید در روزهای وقوع گرد و غبار دارد. به طور کلی طی دوره‌ی مطالعه در این تحقیق نواحی شمال‌غرب، غرب و جنوب شهر مشهد در همه‌ی موارد بررسی شده پوشیده از غبار بوده است. نواحی واقع در این مناطق شرایط غباری بیشتری را نسبت به دیگر نواحی مشهد تجربه می‌کند. همچنین نواحی حاشیه‌ی شهر مشهد به صورت نواری در اطراف شهر مشهد به طور عمده در همه موارد مطالعه شده پوشیده از غبار می‌باشد. با این شرایط به نظر می‌رسد که علاوه بر خشک بودن نواحی در این مناطق شهر مشهد عوامل محلی در ارتباط با کمبود و عدم وجود تراکم سازه‌های شهری و آسفالت شهری در افزایش وضعیت پوشیده از غبار در این مناطق تأثیرگذار بوده است. وجود چنین شرایطی می‌تواند پاسخی بر کاهش میزان غبارهای رسیده به سطح شهر و نواحی مرکزی باشد. که ورود جریانات گرد و غباری را کمتر می‌نماید. به‌عبارت دقیق‌تر تغییر توپوگرافی شهری و رواج بلندمرتبه‌سازی مانع جریان باد در سطح شهر شده و لذا کاهش ورودی گرد و غبار با منشأ بیرونی را به‌همراه دارد. گرچه این وضعیت یعنی افزایش ضریب توپوگرافی بر کاهش پدیده‌ی گرد و غبار اثر مثبتی داشته اما اثرات آن به‌صورت تشدید آلاینده‌های هوای شهری خسارت‌های جبران‌ناپذیری بر جمعیت ساکن در شهر و زائرین به‌بار می‌آورد. کاهش سرعت باد در داخل بافت شهری مستعد حمل ذرات غباری حمل‌شده از نواحی کانونی دوردست نبوده اما منجر به تمرکز شدید آلودگی‌های ناشی از سوخت‌های فسیلی شده و تخلیه آن به بادهای با سرعت بالا در عبور از روی شهر مشهد دارد. با توجه به اینکه مسیرهای مهم حمل گرد و خاک در شمال‌شرق کلان‌شهر مشهد قرار دارد ولی چند سال اخیر تغییرات کاربری اراضی و توسعه کشاورزی از یک‌طرف و کمبود بارش و خشکی هوا از طرف دیگر انتظار می‌رود روزهای گرد و غباری شهر به سرعت رو به افزایش بوده و نواحی حاشیه‌ای شهر را به شدت متأثر سازد. تراکم رسوب‌گذاری گرد و غبار در حواشی شهر و به‌خصوص در اراضی زیرکشت این مناطق را به‌عنوان مناطق منشأ کانونی گرد و غبار در وزش بادهای شدیدتر یا محلی تغییر داده و نهایتاً این مواد به داخل بافت شهری کشیده خواهد شد. بنابراین تشدید روزهای گرد و غباری در آینده امری کاملاً طبیعی بوده و باید سعی شود دست‌کاری اراضی خارج از بافت به حداقل ممکن برسد. همچنین گرد و غباری که به داخل شهر راه می‌یابد به‌دلیل تغییرات شدید سرعت و جهت باد در داخل بافت برای

مدت طولانی باقی خواهد ماند و با هر وزش باد محلی به هوای داخل بافت وارد شده و گرد و غبار محلی ایجاد نماید. توقف توسعه رشد عمودی شهر و همچنین توسعه فضاهای سبز شهری می‌تواند در پیشگیری از این مشکلات مؤثر واقع گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است که با حمایت مالی و مساعدت مرکز پژوهش‌های شورای اسلامی شهر مشهد انجام شده است، بدین منظور تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین نویسندگان مقاله از کارشناسان سازمان هواشناسی خراسان رضوی، بویژه جناب آقای دکتر حبیبی و سرکارخانم مهندس ثابت به جهت در اختیار قرار دادن داده‌های گرد و غبار ایستگاه سینوپتیک مشهد تشکر می‌نمایند.

کتابنامه

امیدوار، کمال. نکونام، زری، (۱۳۹۰)، کاربرد گلباد و گل غبار در تحلیل گرد و خاک و تعیین رژیم فصلی بادهای همراه با این پدیده مطالعه موردی شهر سبزوار. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ٧٦: ٨٥–١٠٤.

جهانشیری، مهین، (۱۳۸۹)، بررسی آماری و سینوپتیکی آلودگی هوای مشهد، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی– اقلیم شناسی، به راهنمایی علیرضا انتظاری، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار.

حسین زاده، سید رضا، (١٣٧٦)، بادهای ۱۲۰ روزه سیستان. تحقیقات جغرافیایی، ٤٦: ١٠٣–١٢٧.

حسین زاده، سید رضا. دوستان، رضا. حقیقت ضیابری، سیده مرضیه. حقیقت ضیابری، سیده مریم، (۱۳۹۲)، بررسی الگوهای همدید مؤثر بر آلودگی هوا در کلان‌شهر مشهد. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. ۲۱: ۸۱–۱۰۲.

ذوالفقاری، حسن. عابد زاده، حیدر، (١٣٨٤)، تحلیل سینوپتیک سیستم های گرد و غبار در غرب ایران. مجله جغرافیا و توسعه. ٦: ١٧٣–١٨٨.

شمسی‌پور، علی‌اکبر. صفر راد، طاهر، (۱۳۹۱)، تحلیل ماهواره ای–همدیدی پدیده گرد و غبار (گرد و غبار تیرماه ۱۳۸۸)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۹: ۱۱۱–۱۲۸.

صفری، اعظم، (۱۳۹۲)، شناسایی منابع غبار طوفان‌های گرد و غباری جنوب غرب ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گرایش اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی. به راهنمایی عباس مفیدی، دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد.

علوی پناه، سیدکاظم، (۱۳۸۲)، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین. مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران. چاپ اول. ص ۲۷۱.

علیجانی، بهلول. نجفی‌نیک، زهرا، (۱۳۸۸)، بررسی سینوپتیکی اینورژن در مشهد با استفاده از تحلیل عاملی. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۱۲: ۱–۱۲.

قربانی، محمد. فیروز زارع، علی، (۱۳۸۷)، مقدمه‌ای بر ارزش‌گذاری محیطزیست. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. چاپ ۱۳۸۹، ص ١٥٦.

قربانی، محمد. فیروز زارع، علی، (۱۳۸۸)، ارزش‌گذاری ویژگی‌های مختلف آلودگی هوا در مشهد. مجله تحقیقات اقتصادی، ۸۹: ۲۱۵-۲۴۲.

کاخکی مهنه، حمید، (۱۳۹۲)، استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در بررسی روابط بین عناصر اقلیمی و نوسانات آلودگی هوا در کلان‌شهر مشهد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گرایش اقلیم شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، به راهنمایی محمد سلیقه، دانشگاه خوارزمی، تهران.

گلریز ضیائی، زهرا. صادقی، حمید. معتمدی، محمد. ژاله رجبی، میترا، (۱۳۹۰)، پیش بینی، ارزش‌گذاری و ترسیم نقشه آلودگی هوای شهر مشهد؛ مطالعه موردی گاز منوکسید کربن، ۲ و ۳ آذر ماه. اولین کنفرانس اقتصاد شهری ایران. مشهد.

مباشری، محمدرضا. غفوری، علی، (۱۳۸۵)، آشکارسازی و مطالعات غبار جوی در تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از اختلاف دمای درخشندگی، نقشه‌برداری، ۸٤: ۱۹-۲۵.

مفیدی، عباس. جعفری، سجاد، (۱۳۹۰)، بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های گرد و غبار تابستانه در جنوب غرب ایران. مطالعات جغرافیای مناطق خشک، ۵: ۱۷-٤٦.

منصوری، نبی‌اله. علی‌نژاد، جواد، (۱۳۸۸)، بررسی کارایی سیستم‌های کنترل کننده ذرات معلق و تعیین میزان انتشار در کارخانجات آسفالت مشهد. فصلنامه علوم تکنولوژی محیط زیست، ٤۰: ۱-۹.

Ackerman, S. A., Chung, H. (1992). Radiative effects of Airborne dust on regional energy budgets at the top of atmosphere. *Journal of Applied Meteorology*, *31*, 223-233.

Edwards, D. P., DeCola, J., Fishman, D., Jacob, P., Bhartia.D., Burrows, J., Goldberg. M. (2006). Community input to the NRC decadal surrey from the NCAR workshop on air quality remote sensing from space: defining an optimum observing strategy. *Journal of National Center for Atmospheric Research Boulder*, retrieved from: http://www.acducar.edu/Events/meeting/Air_Quality_Remote_sensing/Reports/AQRSinputsDS.pdf.

Ghrbani, M., & Firoz Zaree, A. (2009). Measurement of air pollution characteristics in Mashhad. *Economic Research Journal*, *89*, 215-242. [in Persian]

http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni

http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis.shtml

http://www.ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT

Jahanshiri, M. (2010). *Statistical and synoptic investigations of air pollution of Mashhad* Unpublished master's thesis, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar. [in Persian]

Kai, Z., & GAO, H. (2007). The characteristics of Asian-dust storms during 2000-2002: From the source to the sea. *Journal of Atmospheric Environment*,*41*, 9136-9145.

Karimi, N., Moridnejad,A., Golian, S., M.V., Samani, J., Karimi, D., & Javadi, S., (2012). Comparison of dust source identification techniques over land in the Middle East region using MODIS data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, *38*(5), 586-899.

Kaufaman, Y. J. (1997). Passive remote sensing of tropospheric aerosol and atmospheric correction for the aerosol effect. *Journal of Geophysical Research*, *102*, 16815-16830.

Kaufman, Y. J., & Tanre, D. (1998). Remote sensing of tropospheric aerosols from EOS Modis overland. *Journal of Geophysical Research*, *102*, 17051-17067.

Mansoori, N., & Alinejad, J. (2009). The Study of efficiency of suspension particles controller systems and determination of distribution amounts in Mashhad asphalt companies. *Environmental Technology Sciences*, *40*, 1-9.

Miller, S. D. (2003). A consolidated technique for enhancing desert dust storms with MODIS. *Journal of Geophysical Research Letters*, *30*(20), 2071-2074.

Mobasheri, M. R., & Ghafori, A. (2006). Detection of atmospheric dusts in satellite images using Brightness Temperature Difference. *Survey*, *84*, 19-25. [in Persian]

Omidvar, K., & Nokonam, Z. (2011). Application of wind rose and dust rose in dust analysis and determination of seasonal wind regime related with this phenomenon (Case study: Sabzevar city). *Geographical Research*, *76*, 85-104. [in Persian]

Safari, A. (2013). *Recognition of dust storm sources in southwestern of Iran*. Unpublished master's thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad. [in Persian]

Shunlin, L., Zong, B., & Hongliang, F. (2006). Improved estimation of aerosol optical depth from MODIS imagery over land surface. *Journal of Remote Sensing Of Environment*, *104*, 416-425.

Tom, X. P., Zhao, Ackerman, S, Guo, W. (2010). Dust and smoke detection for multi-channel imagers, *Journal of Remote Sensing*, *2*, 2347-2368.

Wang, S., Yang, D., Jing, J., Xu, Q., Yang, Yu. (1995). Study on the formative causes and countermeasures of the catastrophic sandstorm occurred in Northwest China. *Journal of Desert Research*, *15*(1), 19-30.

Wang, Y., Stein. A., Draxler, R., Rosa, D., Zhang, X. (2011). Global sand and dust storms in 2008: Observation and HYSPLIT model verification. *Journal of Atmospheric Environment*, *45*, 6368-6381.

Wang. E., Qiming. L., Na. Y., Xianhua. W., & Jinji. M. (2013). Air quality evaluation on an urban scale based on MODIS satellite images. *Journal of Atmospheric Research, 132-134*, 22-34.

Xia, L. (2010) . *Sea surface temperature extraction by modis remote sensing data in Lianyungang sea area*. Paper presented at the Second IITA International Conference on Geoscience and Remote Sensing. Qingdao, 118-120.

Xuan J., Sokolik IN., Hao J., Guo F., Mao H., & Yang G. (2004). Identification and characterization of atmospheric mineral dust in East Asia. *Journal of Atmospheric Environments*, *38*(36), 6239-6252.